

О.И. АВСЕЕВИЧ, Ю.В. СИНЬКЕВИЧ,
Е.Я. ГОЛОВКИНА, С.Н. ТЕРЕХОВ,
С.И. РОМАНЧУК

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ПАРОГАЗОВОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ПОЛИРОВАНИИ МЕТАЛЛОВ

Характерной особенностью электроимпульсного полирования металлов в электролите является наличие около обрабатываемой поверхности детали (анода) динамически устойчивой парогазовой оболочки, которая возникает вследствие интенсивного протекания электролитических процессов и вскипания электролита под действием высокого напряжения и значительной плотности тока. Парогазовая оболочка по сравнению с электролитом имеет повышенное электрическое сопротивление. Поэтому благодаря высокой электропроводности электролита напряженность электрического поля в парогазовой оболочке достигает $10^6 \dots 10^8$ В/м. За счет высокой концентрации электрической энергии в парогазовой оболочке обеспечивается ее стабильность.

В парогазовой оболочке протекают интенсивные физико-химические процессы. По анализу экспериментальных данных электроимпульсное полирование можно представить в виде упрощенной плоской электрогидродинамической модели (рис. 1), для которой справедливо соотношение $R \gg l$, где R – радиус кривизны обрабатываемой поверхности; l – толщина парогазовой оболочки.

Обрабатываемая деталь (анод) 1 отделена от электролита 6 парогазовой оболочкой 4. На поверхности анода в результате электрохимического взаимодействия материала анода с парогазовой смесью образуется слой 2, состоящий из шламовых продуктов. Напряженность электрического поля в парогазовой оболочке определяется по формуле

$$E = U/l, \quad (1)$$

где U – падение напряжения в парогазовой оболочке.

Возникающей электростатической пондеромоторной силой электролит втягивается в парогазовую оболочку в области случайных неоднородностей электрического поля с образованием микроскопических жидких электролитных мостиков 3. Последние, замыкая промежуток поверхность детали – парогазовая оболочка – поверхность электролита при высоком напряжении, взрываются из-за выделяющей

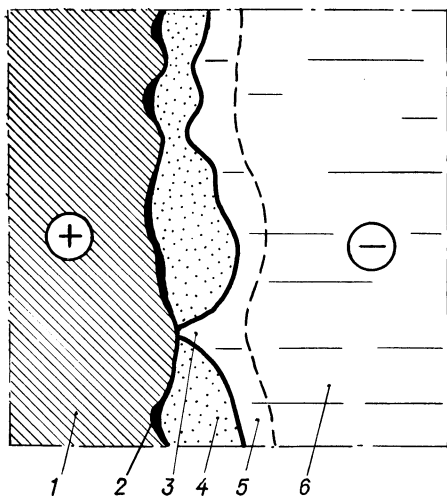


Рис. 1. Модель прианодной зоны в режиме полирования

ся в них тепловой энергии в соответствии с законом Джоуля—Ленца. При взрыве мостика в парогазовую оболочку поступают ионы, нейтральные атомы, молекулы воды. В результате микровзрыва электролитного мостика образуется ударная волна, воздействующая на поверхности анода и электролита. Под ее действием разрушается слой 2 в непосредственной близости от микровзрыва, шламовые продукты удаляются с поверхности анода и поступают в электролит. Возникновение электролитных мостиков наиболее вероятно на выступах микрорельефа поверхности анода из-за повышенной напряженности электрического поля на них. Именно поэтому скорость сглаживания микровыступов максимальна в первые минуты полирования. После удаления микровыступов происходит равномерное удаление металла со всей полируемой поверхности.

Ионы, находящиеся в парогазовой оболочке, бомбардируют поверхность анода с энергией

$$W_1 = qE\lambda,$$

где q — заряд иона; λ — длина свободного пробега иона.

Расчеты показывают, что ионы при режимах, характерных для электроимпульсного полирования, обладают энергией порядка 2,5...40 эВ, благодаря чему они способны разрушать слой 2, состоящий из шламовых продуктов, а также выбивать из поверхностного слоя анода отдельные атомы. Следовательно, процесс распыления поверхностных слоев металла анода можно считать вероятным.

Выделяющееся в результате микровзрывов большое количество теплоты, а также конденсация пара в пограничном слое 5 способствуют тому, что электролит со стороны парогазовой оболочки в пограничном слое перегревается.

Известно, что электролиты не имеют свободных электронов, обладают ионной проводимостью и, следовательно, не могут обеспечить эмиссию свободных электронов, необходимых для поддержания электрического разряда в момент разрушения электролитного мостика. Следовательно, при электроимпульсном полировании искровые разряды возникнуть не могут. Однако в процессе полирования в электролит поступают продукты анодного растворения — мелкодисперсные частицы углерода, коагулянт оксидов и гидроксидов металла. Представляя собой полупроводниковые соединения, эти частицы могут служить центрами эмиссии электронов. Частица шлама, находясь в непосредственной близости от парогазовой оболочки, может образовывать дополнительный псевдокатод, способный эмиссировать свободные электроны. Падение напряжения между частицей шлама (псевдокатодом) и обрабатываемой поверхностью (анодом) может оказаться достаточным для возникновения искрового разряда. В процессе электроимпульсного полирования наблюдаются яркие микровспышки, которые, по-видимому, и соответствуют искровым разрядам.

Согласно предложенной модели, при электроимпульсном полировании электрический ток в прианодной области протекает от металлического анода к электролитному катоду в результате ионной проводимости парогазовой среды, замыкания парогазовой оболочки электролитными мостиками, а так-

же в результате искровых разрядов, возникающих между анодом и частицами шлама. Стационарный и импульсные электрические разряды в парогазовой оболочке на осциллограммах тока и напряжения проявляются в виде постоянной и переменной составляющих.

На интенсивность протекающих в парогазовой оболочке физико-химических процессов оказывают влияние ее размеры, которые в свою очередь зависят от технологических режимов обработки. Для определения толщины парогазовой оболочки систему поверхность детали – парогазовая оболочка – поверхность электролита можно рассматривать как конденсатор. При этом сила пондеромоторного взаимодействия поверхности детали с поверхностью электролита может быть определена по формуле

$$F = -\text{grad } W,$$

где W – энергия электрического поля в парогазовой оболочке.

В свою очередь энергия электрического поля определяется из соотношения

$$W = \omega V = \omega A l, \quad (2)$$

где ω – плотность энергии электрического поля в парогазовой оболочке; V – объем парогазовой оболочки; A – площадь обрабатываемой поверхности.

Плотность энергии электрического поля связана с напряженностью E соотношением

$$\omega = \epsilon \epsilon_0 E^2 / 2, \quad (3)$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды; ϵ_0 – электрическая постоянная.

Преобразовав формулу (2) с учетом (1) и (3), получим

$$W = \epsilon \epsilon_0 U^2 A / (2l). \quad (4)$$

Для плоской модели, рассмотренной выше, сила пондеромоторного взаимодействия

$$F = - \frac{dW}{dl} \quad (5)$$

Подставив в выражение (5) значение W из формулы (4) и взяв производную по l , получим выражение для определения силы:

$$F = \epsilon \epsilon_0 U^2 A / (2l^2).$$

Эта сила вызывает дополнительное деление Δp электролита на парогазовую оболочку и рассчитывается из соотношения

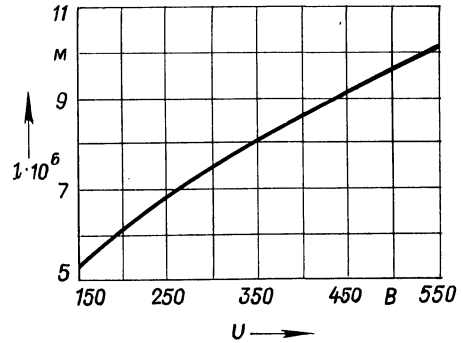
$$\Delta p = F/A = \epsilon \epsilon_0 U^2 / (2l). \quad (6)$$

С другой стороны, движение электролитного мостика в парогазовой оболочке можно описать с помощью уравнения Бернулли, которое для рассматриваемого случая примет вид

$$\Delta p = \rho v^2 / 2, \quad (7)$$

где ρ – плотность электролита; v – скорость движения электролитного мостика в непосредственной близости от поверхности анода.

Рис. 2. Зависимость эффективной толщины парогоазовой оболочки от напряжения



Электролитный мостик достигнет (коснется) поверхности анода за время

$$\tau \approx T, \quad (8)$$

где T – период колебаний переменной составляющей электрического тока.

Время сближения электролитного мостика с поверхностью анода

$$\tau \approx l/v. \quad (9)$$

Подставив в формулу (9) значение τ из выражения (8), получим соотношение для определения толщины парогоазовой оболочки:

$$l = Tv. \quad (10)$$

Преобразовав формулу (10) с учетом (6) и (7), получим

$$l = \sqrt{TU\sqrt{\epsilon\epsilon_0/\rho}} = \sqrt{U/v\sqrt{\epsilon\epsilon_0/\rho}}, \quad (11)$$

где v – частота колебаний переменной составляющей электрического тока.

На рис. 2 представлена зависимость эффективной толщины парогоазовой оболочки от напряжения, рассчитанная по формуле (11) при частоте тока $v = 0,5 \cdot 10^6$ Гц.

Поскольку парогоазовая оболочка является динамически устойчивой системой с непрерывно изменяющимися в некоторых пределах размерами, формула (11) позволяет рассчитать ее эффективную толщину.

УДК 621.91:678.5

В.Д. ГРИЦУК, М.Л. ЕРЕМЕНКО

РАЗРЕЗКА УГЛЕПЛАСТИКА АЛМАЗНЫМИ ОТРЕЗНЫМИ КРУГАМИ

Основными задачами в области исследования процесса резания композиционных материалов (КМ) являются, с одной стороны, раскрытие физической сущности самого процесса резания, отличающегося от процесса резания металлов, а с другой – разработка научно обоснованных нормативов режимов резания этих материалов.

Разрезка изделий из пластмасс вообще и из КМ в частности. – весьма рас-